

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

SMART GRID SYSTEM AND TECHNOLOGY

УДК 621.31

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор., **ORCID** 0000-0002-6299-3680І.В. Коротенко, магістрант, **ORCID** 0000-0002-3546-5874І.В. Лило, магістрант, **ORCID** 0000-0002-9296-6720Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІЛЬНОТ В УКРАЇНІ

Ключові показники ефективності є важливими інструментами як при визначенні цілей стратегічного розвитку, так і при плануванні мережевої інфраструктури Інтелектуальних Електроенергетичних Спільнот (ІЕС). Основною метою впровадження Smart Grid є суттєве покращення рівня життя людей, які використовують дані системи. Розвиток інтелектуальних технологій в електроенергетичному секторі спрямований на зменшення використання паливних ресурсів та підвищення енергоефективності електричного обладнання, що використовується при генерації, розподілі та передачі електричної енергії. Розвиток інтелектуальних систем базується на використанні відновлюваних джерел енергії, адже вони виступають альтернативним джерелом живлення для споживача. Аналіз роботи існуючих систем з подальшим чітким розумінням всіх недоліків та моделювання нових систем на основі отриманих даних виступає ключовим методом впровадження інтелектуальних систем в енергетичному секторі. У статті розглядається сучасний стан енергетичної системи та можливість впровадження сучасної структурної моделі побудови електроенергетичної мережі з використанням відновлюваних джерел енергії. Розглядається необхідність створення оператора ESC для поліпшення взаємодії активних споживачів з енергосистемою. Проводиться аналіз взаємодії різних суб'єктів енергосистеми які створюють енергетичні об'єднання на базі Smart Grid. Актуальність розгляду даного питання є стратегія України по збільшенню частки відновлюваних джерел енергії та необхідність модернізації, автоматизації об'єднаної енергетичної системи України (ОЕС України).

Ключові слова: Інтелектуальні Електроенергетичні Спільноти, інтелектуальна електромережа, інтелектуальні електроенергетичні технології, Energy Smart Community, оператор ІЕС, відновлювані джерела енергії, активний споживач, агрегатор.

Глобальний розвиток Smart Grid технологій в енергетичних секторах країн світу підтверджує свою ефективність та необхідність в контексті модернізації існуючих енергетичних об'єднань та введення нових інтелектуальних систем на різних енергетичних рівнях [1]. Енергетичний сектор України потребує використання систем, ключовими показниками яких є швидке інтегрування та максимальна ефективність відносно встановленої вартості. Технічна та моральна зношеність електричного обладнання на підстанціях, втрати при передачі електричної енергії та багато інших чинників призводять до значних фінансових втрат [2]. Будівництво нових мереж, підстанцій, модернізація та автоматизація приватних підприємств відбувається за рахунок економічної зацікавленості приватних осіб. Відсутність стимулювання для впровадження нових Smart технологій суттєво уповільнює технічний розвиток Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України.

В Україні завдяки державному стимулюванню розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) суттєво збільшились обсяги «зеленої» генерації. Впровадження «зелених» тарифів, що будуть діяти до 2030 року [3]. За увесь 2018 рік встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом з урахуванням сонячних електростанцій (СЕС) приватних домогосподарств склала 848 МВт (загальна встановлено потужність 2247 МВт). Загальний обсяг введених в експлуатацію об'єктів відновлюваних джерел енергії станом на 1 півріччя 2019 року склало 3634 МВт від загального обсягу встановлених потужностей ОЕС України. Об'єкти на базі фотоелектричних установок складають 2640 МВт (73%) від загального обсягу ВДЕ, встановлених на території України. Серед них 276 МВт припадає на 1188 приватних домогосподарств [4]. За 1 півріччя 2019 року встановлена потужність ВДЕ зросла біль-

© С.П. Денисюк, І.В. Коротенко, І.В. Лило, 2019

ше, ніж за увесь 2018 рік на 14 МВт. Галузь є вкрай привабливою для надходження нових та покращення вже існуючих інвестиційних програм зі сторони країн-партнерів, що дозволило за декілька років у рази збільшити кількість генерації та сприяло розвитку ВДЕ в енергетичному секторі України.

Метою дослідження є узагальнення сучасного стану мережевої інфраструктури у сфері інтелектуального керування електроенергетичними ресурсами, визначається рівень використання інформаційних та технологічних ресурсів для координації та оптимізації процесів керування енергосистемою, беручи до уваги; технічні обмеження, геокліматичні умови регіону, встановлення силового та інформаційного зв'язку між споживачем та енергосистемою та задачі з розвитку ОЕС України.

1. Актуальність впровадження Smart систем для формування інтелектуальних електроенергетичних спільнот в Україні

У контексті розвитку Інтелектуальної Електроенергетичної Спільноти (ІЕС) - потреба в інтелектуальних підходах до керування та координації технологій різного спектру для перетворення та передачі електричної енергії добре відома [5]. Сьогодні в Україні проблему впровадження систем Smart Grid на рівні ОЕС України вже вирішується залученням системи Smart Metering [6] (інтелектуальний облік використаної та згенерованої в мережу електричної енергії) та широким розповсюдженням різного роду інтелектуальних датчиків та систем моніторингу з вбудованими алгоритмами керування. Однак необхідно створити актуальні методи для роботи зі складними мережами, визначивши певні проектні та експлуатаційні рішення для систем, які матимуть широкий спектр функцій та велику кількість часових масштабів [7].

Впровадження Smart Grid призводить до суттєвого покращення рівня життя людей, які використовують дані системи, але якісне і нове обладнання коштує значних фінансових вкладів, що суттєво перешкоджає інсталяції подібних систем в енергетичному секторі України.

З точки зору розвитку всієї енергосистеми, виділяють декілька ключових цілей. Окремі цілі мають різні масштаби розвитку енергосистеми, але в цілому вони направлені на покращення якісних та кількісних характеристик електроенергії для побутового споживача. Деякі з ключових цілей:

- мінімізувати фінансові операційні витрати для всіх учасників (мешканців будинків, уряду, користувачів електромобілів, власників активів, тощо);
- мінімізувати загальний вплив системи на навколишнє середовище;
- максимізувати проникнення поновлюваних джерел енергії;
- підвищення рівня комфорту кінцевого споживача.

Ці цілі можуть бути взаємовиключними, але всі вони вимагають координаційного підходу до їх вирішення. Впровадження системи управління полягає в тому, щоб оптимально координувати різні енергетичні активи в регіоні, керуючи окремими компонентами, щоб задовольнити більш широкі системні обмеження, а також звести до мінімуму екологічні та економічні наслідки. Складна особливість енергетичного сектора на рівні керування в його масштабі, з великою кількістю зацікавлених сторін, які мають різні цілі та стратегії розвитку. Розгляд кожного сектору незалежно від інших може привести до порушення системних обмежень вищого рівня [8]. Крім того, навіть якщо всі компоненти і системні обмеження обробляються в рамках єдиної централізованої структури керування енергосистемою, різні цілі можуть привести до суперечливих запитів. Наприклад, скорочення власного споживання у генератора, може привести до погіршення роботи системи.

Проектування та функціонування Smart систем в Україні є необхідним, адже збільшенням кількості об'єктів Розосередженої генерації (Рг) в цілому негативно впливає на енергетичний сектор. Впровадження Smart мереж дозволить локалізувати певні ділянки та рівні системи для можливості місцевого регулювання шляхом введення оператора, який буде взаємодіяти між зацікавленими споживачами та ОЕС України. Перехід до місцевого регулювання та локалізації системи дозволить скоротити кількість проміжних ланок (розподілу та постачання), що зумовить підвищення надійності та стійкості системи в цілому. Локалізація окремих ланок енергетичного сектору спонукає до появи різного виду «активних» споживачів та операторів інтелектуальних електроенергетичних систем.

2. Формування структурної моделі інтелектуального електроенергетичного середовища в Україні

Концепція ІЕС припускає активну роль споживача електричної енергії [9], коли він стає, з одного боку, активним суб'єктом розробки й прийняття рішень по розвитку й функціонуванню енергосистеми (як власної, так і колективної), а з іншого боку об'єктом керування, що забезпечує реалізацію ключових вимог. Зацікавлені споживачі діляться на три основні рівні: споживач (consumer) [10], «активний» споживач (prosumer) та професійний споживач з можливістю накопичування електроенергії (prosumage) [11]. Розподіл «активних» споживачів (АС) дозволяє побудувати модель інтелектуального енергетичного середовища (рис.1), з урахуванням можливостей взаємодії АС з ОЕС України та оператором, ключовими функціями якого є оперативне керування локальними електроенергетичними системами [12], координація дій інтелектуальних спільнот та інформаційна, правова підтримка активних споживачів підпорядкованого регіону.

Споживач (consumer) електричної енергії виступає зацікавленим суб'єктом ринку електричної енергії, ключовим стимулюванням його діяльності на ринку електричної енергії є зацікавленість у енергоефективному використанні електричної енергії [13]. Після переходу до нового ринку електричної енергії споживач буде зацікавлений у отриманні інформації від постачальника про зміни на ринку електричної енергії, адже зміни на ринку електричної енергії в подальшому будуть відображатись у ціні на електричну енергію та її якісних показниках. Створення конкурентної моделі на ринку електричної енергії надасть можливість для споживача самому обирати постачальника, що в свою чергу призведе до отримання певної вигоди: зменшення споживання, зменшення вартості на електричну енергію, можливість впливати на вартість електричної енергії, покращення якісних характеристик електричної енергії, підвищення надійності та безпеки постачання.

Зі свого боку, prosumer у певні інтервали часу виступає як звичайний покупець електроенергії, але можливість генерувати електричну енергію надає йому можливість впливати на стан енергосистеми та ціни на ринку електричної енергії [14]. Розвиток АС обумовлений можливостями зменшення втрат електричної енергії та збільшення колективного прибутку. Об'єднання АС дозволяє локалізувати певні об'єкти енергетичної системи, що в свою чергу надасть більше можливостей по управлінню енергосистемою в цілому. Фінансова зацікавленість АС дозволить створити певні об'єднання на базі нових технологій в енергетичному секторі, що обумовить розвиток електроенергетичної системи за рахунок впровадження інтелектуальних систем.

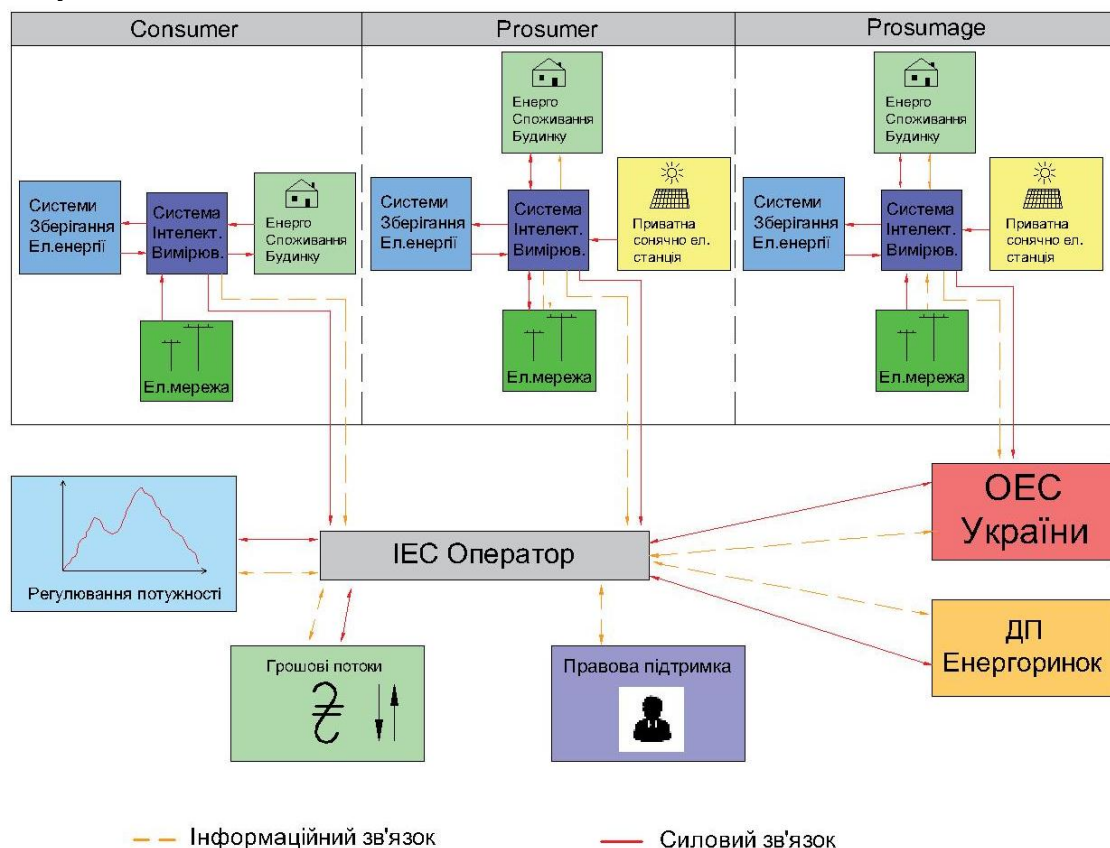


Рис. 1. Структурна модель інтелектуального електроенергетичного середовища

Найбільшими перевагами наділений prosumage, «активний» споживач з можливістю акумулювати електричну енергію. Можливість регулювати власне споживання, генерацію та акумулювання дозволяє АС оперативно реагувати щодо змін на ринку електричної енергії. Слід зазначити, що АС спроможний впливати на ринок електричної енергії через систематичні дії [15]. Отримання найбільшої економічної вигоди спонукає до збільшення кількості АС не тільки в кількісному а й у якісному еквіваленті.

В Україні права, обов'язки та відповідальність споживачів електричної енергії визначаються законами України "Про електроенергетику", "Про захист прав споживачів", кодексом електричних мереж, кодексом комерційного обліку, правилами користування електричною енергією (які включають правила користування електричною енергією для побутових споживачів) та іншими нормативно-правовими актами [16]. Відповідно до цих законів можна оперувати наступними визначеннями при описі різновидів споживачів електричної енергії: споживач, захищений споживач, малий побутовий споживач, побутовий споживач та кваліфікований споживач.

Для кваліфікованого споживача діє ряд правил та обмежень відповідно до законодавства України. Кваліфікований споживач має право купувати електричну енергію для власного споживання на ринку двосторонніх договорів за умови, що він набув статусу учасника ринку та став стороною, відповідальною за баланс [16]. Кваліфікований споживач не має права здійснювати перепродаж електричної енергії іншим учасникам ринку. Брати участь у балансуванні мають право кваліфіковані споживачі, що відповідають вимогам правил ринку електричної енергії щодо участі у балансуванні.

На енергоринку України здійснює свою діяльність споживач з керованим навантаженням – це споживач який змінює графік свого споживання відповідно до вимог (потреб) ринку. Споживач з керованим навантаженням функціонує на ринку допоміжних послуг та на балансуєчому ринку. На балансуєчому ринку він знаходиться в групі трейдерського резерву і виводиться з мережі в складі третинного резерву для забезпечення якості електричної енергії та підтримки частотного режиму мережі.

Введення нових споживачів на новоствореному конкурентному ринку електричної енергії України збільшить кількість важелів впливу на енергетичний баланс України. Можливість керувати графіком споживання збільшить балансуєчі резерви та дозволить покращити якість електричної енергії, яку отримує кінцевий споживач та підвищить енергоефективність системи в цілому.

3. Нормативно-технічна база для впровадження «інтелектуальних» енергетичних систем на основі технологій Smart Grid

При встановленні конкурентної моделі на ринку електроенергії постачальник, який використовує інтелектуальні мережі, буде отримувати чітку інформацію з потрібними часовими масштабами щодо споживання окремо взятого споживача [17]. Побудова статистичних графіків споживання в реальному часі дозволить зрозуміти потреби, які необхідно задовольнити, а при конкурентній моделі буде спонукати постачальника до більш чіткого аналізу, для збільшення кількості споживачів.

Обробка даних, які в реальному часі та у великій кількості буде отримувати оператор від АС необхідно обробляти, перетворювати в інформацію та статистичні дані, на основі яких проводити розрахунки для оперативного керування інтелектуальною системою вимагає великої кількості обчислювальної потужності [18]. Забезпечення регуляторної бази відбувається за рахунок створення стандартів, дії яких розділяються в залежності від напрямків обробки даних (рис.2).

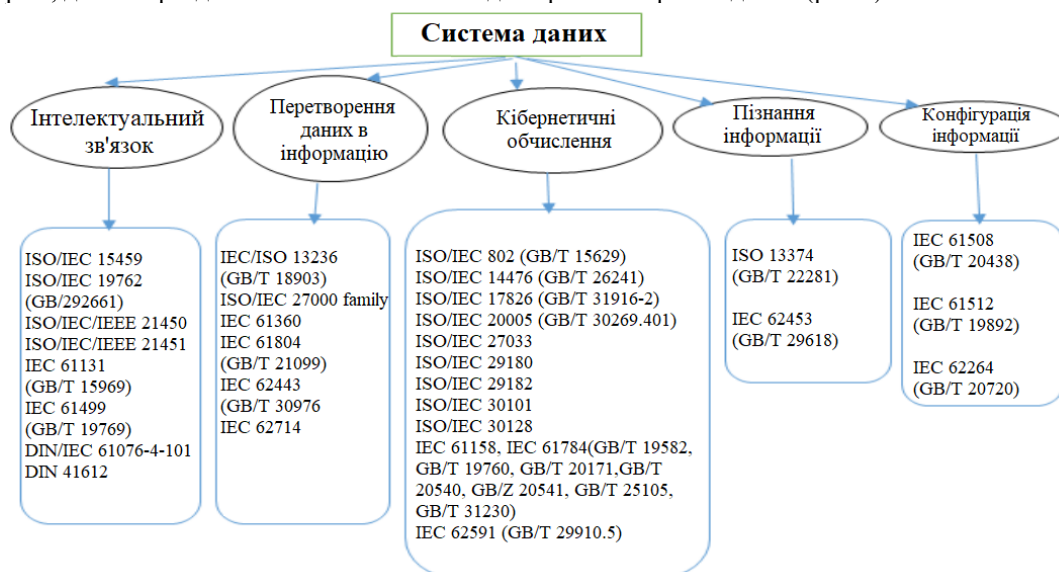


Рис. 2. Стандарти обробки інформації

Європейські компанії спільно з провідними інститутами стандартизують оперативне керування інтелектуальними системами [19]. Інтелектуальними системами розділяються в залежності від масштабів та складності, що дозволяє структурувати інформаційні потоки. Слід виділити комплекс стандартів IEEE 1547, який містить ряд документів, присвячених різним аспектам забезпечення взаємодії та зв'язності між розподіленими ресурсами, інтегрованими до складу енергетичних систем, і складається з таких частин:

- IEEE 1547.1 – стандарт загальної процедури відповідності випробувань приєднання розподілених джерел енергії до енергосистеми;
- IEEE 1547.2 – визначає деталізовані вказівки приєднання на паралельну роботу;
- IEEE 1547.3 – вимоги по обміну інформацією, моніторингу та контролю розподілених джерел енергії;
- IEEE 1547.4 – вимоги до обладнання та його експлуатації у відокремлених локальних енергосистемах з розподіленими джерелами енергії;

- IEEE 1547.5 – призначений для розподілених джерел енергії потужністю вище 10 МВА;
- IEEE 1547.6 – практичні аспекти підключення розподілених джерел енергії до розподільчих мереж;
- IEEE 1547.7 – керівництво по визначенню впливу малої генерації на енергосистему;
- IEEE 1547.8 – методичні рекомендації щодо впровадження IEEE 1547

З точки зору розподільних мереж високий рівень впровадження локальних енергетичних мереж, таких як системи акумуляування, електромобілі та регульовані пристрої змінили традиційну концепцію енергетичної системи та призвели до ускладнення розподільчих мереж. Зміни у енергетичній системі призводять до збільшення вимог що до надійності ОЕС України.

4. Функціонування оператора в енергетичній системі України

Для координації та оперативного керування активними споживачами та їх об'єднаннями, на ринку створюються оператори інтелектуальних електроенергетичних спільнот (Оператор ІЕС). Оператори ІЕС виступатимуть посередниками між локальними системами та енергосистемою (рис.3). Фінансове стимулювання оператора ІЕС дозволить ввести конкуренцію на ринку операторів, що в свою чергу, призведе до підвищення якості послуг та підвищить рівень комфорту кінцевого споживача [20]. Стимулювання за рахунок фінансових відрахувань та конкуренція серед операторів буде сприяти покращенню якості надаваних послуг, якості обслуговування та підвищить рівень інформування кінцевого споживача.

Швидкі та надійні канали двостороннього зв'язку можуть бути реалізовані за рахунок стандартизації та правової підтримки. Оператор ІЕС повинен надавати програмну платформу для взаємодії, як з внутрішніми об'єктами енергетичної системи, так і зовнішніми (оптовий ринок електричної енергії).

Основні функції оператора:

- створити базовий функціональний інтерфейс; моніторинг, служба повідомлень та звітів;
- надати та пояснити функції фінансових розрахунків; розрахунок розрахункової ціни, налаштування цінових діапазонів, прогнозування ціни-пропозиції на оптовому ринку електричної енергії;
- функції керування та диспетчеризації; алгоритм диспетчеризації направлений на відповідність графіку.

Для структуризації електроенергетичної мережі Оператор ІЕС/агрегатор може розглядатися, як глобальний контролер та посередник між кінцевим споживачем та енергосистемою:

$$wE_{\text{оператор}}(h) = \sum_{i=1}^N E_i(h), \quad (1)$$

$$wE_{\text{оператор}}(h) = \alpha \sum_{i=1}^N (wP_i(h) \times E_i(h)) / \sum_{i=1}^N E_i(h), \quad (2)$$

-де кількісний блок $wE_{\text{агрегатор}}(h)$ представлений у вигляді суми кількісних пакетів Microgrids (MGs);

αi – вартість витрат для MG;

$E_i(h)$ – кількість електричної енергії від MGs за одиницю часу;

$wP_i(h)$ – ціна на електричну енергію від MGs за одиницю часу.

Системи MG є основними гравцями на ринках роздрібною торгівлі електричної енергії. Вони, як правило повинні бути з'єднані з шиною базової розподільної мережі. Учасники ринку можуть бути різних типів і масштабів, наприклад комерційні MG, або житлові MG. Ми розглядаємо загальну вартісну функцію MG як:

$$C_i(E_i) = [a_i(E_i)^{1+b_i} / (1 + b_i)] + c_i \quad (3)$$

-де a_i – швидкість збільшення собівартості;

b_i – зміна витрат (функція витрат виконується в квадратичній формі, $b_i = 1$);

c_i – фіксована вартість.

Системи акумуляування енергії, обладнана інтелектуальними технологіями, може поглинати майже будь який надлишок від генераторів. Стан заряду системи акумуляування енергії потребує уваги під час процесу зарядки / розрядки, що забезпечується системами моніторингу. Функція моніторингу стану заряду в часовому інтервалі h може бути описана як:

$$E_i^{ESS}(h) = E_i^{ESS}(h-1) + \eta_i P_i^{ESS}(h) \Delta h \quad (4)$$

$$E_i^{ESS}(h) = E_i^{ESS}(h-1) + P_i^{ESS}(h) / \eta_d \Delta h \quad (5)$$

-де рівняння (5) описує режим зарядки системи акумуляування електричної енергії у часовому проміжку h , коли потужність заряду $P_i^{ESS}(h)$ додатна;

-рівняння (6) описує систему акумуляування електричної енергії у часовому проміжку h , коли потужність $P_i^{ESS}(h)$ від'ємна.

Надлишок електричної енергії використовується для повного заряду системи акумуляування. Електрична енергія, що знаходиться у системах акумуляування використовується для задоволення потреб на роздрібному ринку електричної енергії та місцевого попиту, коли генерація електричної енергії нижча за попит. Якщо електричної енергії від систем місцевої генерації чи систем акумуляування недостатньо, РЕС

оператор може купувати електричну енергію у комунальної компанії на балансуєчому ринку електричної енергії.

Збільшення кількості MG_i призводить до появи нових учасників на оптовому ринку електричної енергії та підвищенню асортименту торгової кількості та якості:

$$0 \leq E_i(h) \leq E_i^{generation}(h) - (1 - \omega_i)E_i^{load}(h) \quad (6)$$

Права частина рівняння представляє надлишок електричної енергії від MG_i , для торгівлі на оптовому ринку електричної енергії, ω_i – швидкість проникнення керованого навантаження в MG_i . На практиці ω_i регулюється так, щоб при запиті на попит відповідати операції кількості на оптовому ринку електричної енергії. Загальний дохід MG_i (R_i^{total}) визначається, як сума доходів, як на оптовому ринку електричної енергії $\omega R_i(h)$, так і на балансуєчому ринку за проміжок часу h ($R_{i,j}(h)$):

$$R_i^{total} = \sum_{h=1}^H R_{i,j}(h) + \sum_{h=1}^H \omega R_i(h) \quad (7)$$

Однак на сьогодні для роботи і керування PEC все ще не вистачає досконалих методів оцінки комфорту користувачів і досліджень по споживанню відновлюваної енергії, що серйозно ускладнить подальший розвиток PEC. Також малої популярності набуло інформування та правова підтримка «активних» споживачів. Дуже важливо додатково вивчити вплив рівня комфорту користувача [21], споживання відновлюваної енергії та інших факторів на оптимальну роботу. Чітке розуміння потреб споживачів дозволить проектувати енергетичні системи, які будуть у повному обсязі задовольняти потреби учасників ринку електричної енергії [22]. Стимулювання учасників ринку за рахунок певних надбавок допоможе створити живу конкуренцію яка стане основою розвитку Інтелектуальних електроенергетичних спільнот в Україні.

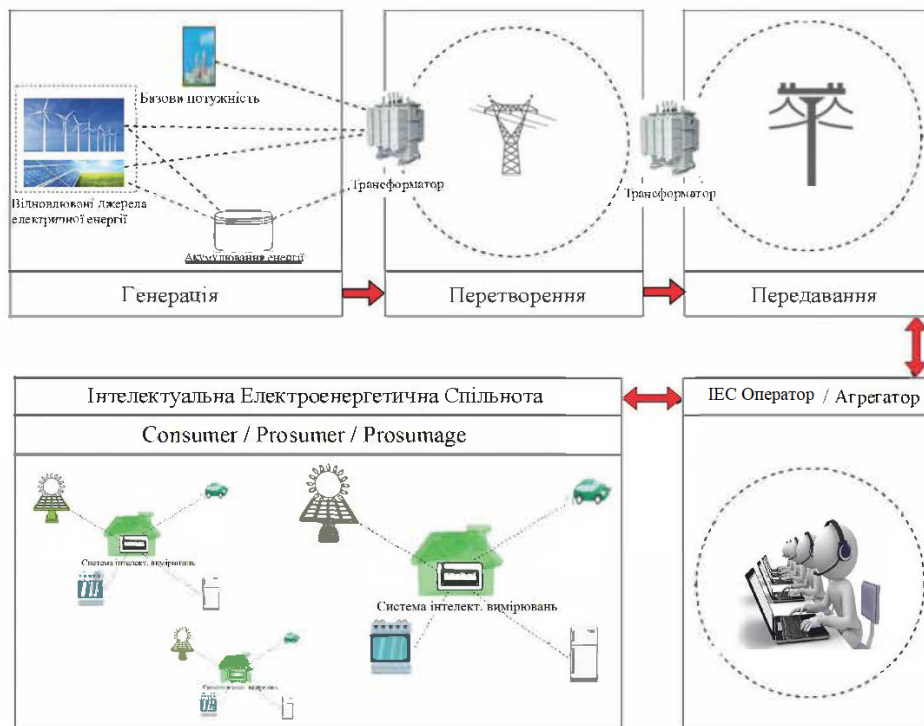


Рис. 3. Становлення оператора PEC / Агрегатора в енергетичній системі України

Інтеграція систем Energy Smart Community (ESC) в Україні на даний момент є дуже важливим, адже воно дає можливості для розвитку Smart City (Розумне місто). У контексті розвитку Smart Grid потреба в інтелектуальних підходах до керування і координації різноманітного спектра технологій постачання та перетворення зі збільшення попиту добре відома [23].

Широкомасштабне поширення інтелектуальних пристроїв моніторингу в поєднанні з впровадженням вбудованих алгоритмів обчислювального інтелекту може допомогти вирішити багато технічних проблем, пов'язаних з впровадженням інтелектуальних електроенергетичних систем [24]. Проте, бар'єри все ще існують, оскільки необхідні відповідні методи для роботи зі складними мережами учасників (часто з конкуруючими цілями) при визначенні проектних і експлуатаційних рішень для систем з широким спектром функцій і часових масштабів.

Висновки

1. Суттєве зношення обладнання Українських електромереж та стрімкий розвиток інтелектуальних систем на базі відновлюваних джерел надають можливості до заміни обладнання на сучасне. Впровадження сучасних технологій розрахованих на двосторонній зв'язок допоможе побудувати сучасну, розвинену мережеву інфраструктуру ключовими цілями якої буде підвищення якісних показників енергосистеми на всіх її рівнях.

2. Впровадження інтелектуальних та Smart технологій для координації та оптимізації процесів генерації, розподілення та передачі, проектування та керування енергосистемою дозволить суттєво підвищити ефективність енергосистеми. Беручи до уваги технічні обмеження та ключові цілі розвитку ОЕС України можливе створення ІЕС на базі розвинутих АС при співпраці з РЕС Оператором.

3. Встановлення конкурентної моделі на ринку електричної енергії стимулюватиме до створення нових та розвитку вже існуючих операторів, ключовими задачами яких буде координація АС, інформування кінцевого споживача та створення доступного онлайн майданчика для об'єднання АС у ІЕС. Україна має можливість зробити інтелектуальний скачок за рахунок своєчасного переходу на Smart технології в електроенергетичній галузі.

Список літератури

1. Edward O'Dwyer, Indranil Pan, Salvador Acha, Nilay Shah «Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions» Applied Energy Volume 237, 1 March 2019, Pages 581-597.
2. ДП «НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики «План розвитку системи передачі Укренерго 2019 – 2028 роки», Київ – 2017, 51с.
3. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» Розділ 2, стаття 9.
4. Електронний ресурс: <https://ua-energy.org/uk/posts/v-ukraini-pratsiuie-maizhe-12-tys-domashnikh-ses>
5. Peter Boait, J. Richard Snape, Robin Morris, Jo Hamilton and Sarah Darby «The Practice and Potential of Renewable Energy Localisation: Results from a UK Field Trial» Sustainability 2019, 11(1), 215.
6. ДП «НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики «Аналіз зарубіжної практики впровадження сучасних автоматизованих систем обліку електроенергії», Київ – 06/2014, 78с.
7. Cihan Gercek and Angèle Reinders «Smart Appliances for Efficient Integration of Solar Energy: A Dutch Case Study of a Residential Smart Grid Pilot» Appl. Sci. 2019, 9(3), 581.
8. Thomas Bauwens «Analyzing the determinants of the size of investments by community renewable energy members: Findings and policy implications from Flanders» Energy Policy Volume 129, June 2019, P. 841-852.
9. M.L. Tuballa, M.L. Abundo «A review of the development of Smart Grid technologies» of Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016) 710–725.
10. Денисюк С.П. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2014. – № 3. – С. 75–79. – ISSN 1997-9274.
11. Schill, Wolf-Peter; Zerrahn, Alexander; Kunz, Friedrich; Kemfert, Claudia «Decentralized solar prosumage with battery storage: System orientation required» DIW Economic Bulletin Vol. 7, Iss. 12/13, pp. 141-151, Berlin 2017.
12. Kyrylenko O.V. Suchasni tendencii pobudovu ta keruvannya rezshimamu elektroenergetichnih merezh / O.V. Kyrylenko, S.P. Denysuk // Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2014. – № 9. – Spec. issue P. 2: Power electronics and energy efficiency. – pp. 82 – 94.
13. Sally P. Caird & Stephen H. Hallett «Towards evaluation design for smart city development, Journal» of Urban Design Volume 23 May 2018, Pages 188-209.
14. Sebastian P. Rosado, Shafiuazzaman K Khadem, «Development of Community Grid: Review of Technical Issues and Challenges» Volume: 55 , Issue: 2 , March-April 2019.
15. P. Sokolovskyi, R. Sharma, 2019 "Estimation of PV systems power production efficiency in the dense urban development condition" Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 4. - ISSN 2308-7382.
16. Закон України «Про засади функціонування ринку електричної енергії України» Розділ 2, ст. 14.
17. Mousa Marzband, Fatemeh Azarinejadian, Mehdi Savaghebi, Josep M. Guerrero "View All Authors An Optimal Energy Management System for Islanded Microgrids Based on Multiperiod Artificial Bee Colony Combined With Markov Chain" IEEE Systems Journal (Volume: 11 , Issue: 3 , Sept. 2017).
18. Ahmadi, A., Cherifi, C., Cheutet, V., & Ouzrout, Y. (2017). A review of CPS 5 components architecture for manufacturing based on standards. 2017 11th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA). 2017.
19. ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» Науково-проектний центр розвитку ОЕС України «Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії», Київ 2018, 122с.

20. О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т. М. Базюк «Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2016. № 1. С. 29–34.

21. Weixian Li, Thillainathan Logenthiran, Van-Tung Phan and Wai Lok Woo “Housing development building management system (hdbms) for optimized electricity bills,” Transactions on Environment and Electrical Engineering, vol. 2, no. 2, pp. 64–71, 2017.

22. Haris Doukas, Vangelis Marinakis, John Tsapelas and Sgouris Sgouridis «Intelligent Energy Management Within the Smart Cities: An EU-GCC Cooperation Opportunity» Smart Cities in the Gulf pp 123-147 Volume 30 October 2018.

23. Thomas Bauwens, Patrick Devine-Wrightb «An empirical study of community energy participation and attitudes to renewable energy» Energy Policy Volume 118, July 2018, Pages 612-625.

24. Gagangeet Singh Aujla, Sahil Garg, Shalini Batra, Neeraj Kumar, Ilsun You, Vishal Sharma, DROPS: A Demand Response Optimization Scheme in SDN-enabled Smart Energy Ecosystem, Information Sciences (2018).

S.Denysiuk, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0002-6299-3680

I.Korotenko, master student, **ORCID** 0000-0002-3546-5874

I.Lylo, master student, **ORCID** 0000-0002-9296-6720

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

FORMATION OF NETWORK INFRASTRUCTURE OF INTELLECTUAL ELECTRICITY COMMUNITIES IN UKRAINE

Indicators are important tools both in identifying strategic development goals and in planning the Intelligent Electricity Communities (IES) network infrastructure. The main purpose of Smart Grid implementation is to significantly improve the standard of living of people using the system data. The development of smart technologies in the electricity sector is aimed at reducing the use of fuel resources and improving the energy efficiency of electrical equipment used in the generation, distribution and transmission of electricity. The development of intelligent systems is based on the use of renewable energy sources, as they are an alternative power source for the consumer. Analyzing the performance of existing systems, with a clear understanding of all the shortcomings and modeling of new systems based on the data obtained, is a key method for implementing smart systems in the energy sector. The article deals with the current state of the energy system and the possibility of introducing a modern structural model of building an electricity grid using renewable energy sources. The need to create an ESC operator to improve the interaction of active consumers with the grid is considered. The analysis of the interaction of different entities of the grid creates energy associations based on Smart Grid. The urgency of considering this issue is the strategy of Ukraine to increase the share of renewable energy sources and the need for modernization, automation of the unified energy system of Ukraine (UES of Ukraine).

Keywords: *Intelligent Electricity Communities, intelligent electricity network, intelligent electricity technologies, energy smart community, IES operator, renewable energy sources, consumer, aggregator.*

УДК 621.31

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор, **ORCID** 0000-0002-6299-3680

І.В. Коротенко, магістрант, **ORCID** 0000-0002-3546-5874

І.В. Лило, магістрант, **ORCID** 0000-0002-9296-6720

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ФОРМИРОВАНИЕ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ В УКРАИНЕ

Ключевые показатели эффективности являются важными инструментами как при определении целей стратегического развития, так и при планировании сетевой инфраструктуры интеллектуальных электроэнергетических сообществ (ИЭС). Основной целью внедрения Smart Grid является существенное улучшение уровня жизни людей, которые используют данные системы. Развитие интеллектуальных технологий в электроэнергетическом секторе направлен на уменьшение использования топливных ресурсов и повышения энергоэффективности электрического оборудования, используемого при генерации,

распределении и передаче электрической энергии. Развитие интеллектуальных систем базируется на использовании возобновляемых источников энергии, ведь они выступают альтернативным источником питания для потребителя. Анализ работы существующих систем с последующим четким пониманием всех недостатков и моделирования новых систем на основе полученных данных выступает ключевым методом внедрения интеллектуальных систем в энергетическом секторе. В статье рассматривается современное состояние энергетической системы и возможность внедрения современной структурной модели построения электроэнергетической сети с использованием возобновляемых источников энергии. Рассматривается необходимость создания оператора ESC для улучшения взаимодействия активных потребителей с энергосистемой. Проводится анализ взаимодействия различных субъектов энергосистемы, которые создают энергетические объединения на базе Smart Grid. Актуальность рассмотрения данного вопроса является стратегия Украины по увеличению доли возобновляемых источников энергии и необходимость модернизации, автоматизации объединенной энергетической системы Украины (ОЭС Украины).

Ключевые слова: Интеллектуальные Электроэнергетические Сообщества, интеллектуальная электросеть, интеллектуальные электроэнергетические технологии, Energy Smart Community, оператор ИЭС, возобновляемые источники энергии, активный потребитель, агрегатор.

List of references

1. Edward O'Dwyer, Indranil Pan, Salvador Acha, Nilay Shah "Smart Energy Systems for Sustainable Smart Cities: Current Developments, Trends and Future Directions" Applied Energy Volume 237, March 1, 2019, Pages 581-597.
2. SE "NEC" Ukrenergo "Scientific and Technical Center of Power Engineering" Development Plan of Transmission System Ukrenergo 2019 - 2028 ", Kyiv - 2017, 51 p.
3. Law of Ukraine "On Alternative Energy Sources" Section 2, Article 9.
4. Electronic resource: <https://ua-energy.org/en/posts/v-ukraini-pratsiuiie-maizhe-12-tys-domashnikh-ses>
5. Peter Boait, J. Richard Snape, Robin Morris, Jo Hamilton and Sarah Darby "The Practice and Potential of Renewable Energy Localization: Results from a UK Field Trial" Sustainability 2019, 11 (1), 215.
6. State Electric Company "Ukrenergo" Scientific and Technical Center of Power Engineering "Analysis of Foreign Practice of Implementation of Modern Automated Electricity Metering Systems", Kyiv - 06/2014, 78 p.
7. Cihan Gercek and Angèle Reinders "Smart Appliances for Efficient Solar Energy Integration: A Dutch Case Study of a Residential Smart Grid Pilot" Appl. Sci. 2019, 9 (3), 581.
8. Thomas Bauwens, "Analyzing the Determinants of Investment Size by Community Renewable Energy Members: Findings and Policy Implications from Flanders," Energy Policy Volume 129, June 2019, P. 841-852.
9. M.J.I. Tuballa, M.L. Abundo "A Review of the Development of Smart Grid Technologies" by Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016) 710-725.
10. Denysyuk S.P. Features of Active Consumer Formation in Modern Power Networks Denysyuk, T.M. Bazyuk // Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute. -2014. - № 3. - P. 75-79. - ISSN 1997-9274.
11. Schill, Wolf-Peter; Zerrahn, Alexander; Kunz, Friedrich; Kemfert, Claudia «Decentralized solar prosumage with battery storage: System orientation required» DIW Economic Bulletin Vol. 7, Iss. 12/13, p. 141-151, Berlin 2017.
12. Kyrylenko O.V. Such tendencies drive this keruvannya rezshimamu elektroenergetichnih merezh / O.V. Kyrylenko, S.P. Denysuk // Energy saving. Power engineering. Energy audit. - 2014. - № 9. - Spec. issue P. 2: Power electronics and energy efficiency. - pp. 82 - 94.
13. Sally P. Caird & Stephen H. Hallett «Towards Evaluation Design for Smart City Development, Journal» of Urban Design Volume 23 May 2018, Pages 188-209.
14. Sebastian P. Rosado, Shafiuazzaman K Khadem, "Community Grid Development: A Review of Technical Issues and Challenges" Volume: 55, Issue: 2, March-April 2019.
15. P. Sokolovskyi, R. Sharma, 2019 "Estimation of PV systems power production efficiency in the dense urban development condition" Energy: Economics, Technologies, Ecology. 2018. No. 4. - ISSN 2308-7382.
16. Law of Ukraine "On Fundamentals of Functioning of the Electricity Market of Ukraine" Section 2, Art. 14.
17. Mousa Marzband, Fatemeh Azarinejadian, Mehdi Savaghebi, Josep M. Guerrero "IEEE Systems Journal (Volume: 11, Issue: 3, Sept 2017).
18. Ahmadi, A., Cherifi, C., Cheutet, V., & Ouzrout, Y. (2017). A review of CPS 5 components architecture for manufacturing based on standards. 2017 11th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA). 2017.
19. SE "UkrENERGO" Scientific and Research Center for Development of UES of Ukraine "Status and Prospects for the Development of Technologies of "Intelligent" Electricity Networks, Demand Management and Regime Management Systems in the Conditions of Renewable Energy Development", Kyiv 2018, 122 p.
20. OV Kirilenko, S.P. Denysyuk, SE Tankkevich, TM Bazyuk "Information and regulatory support for the organization of multiagent control of the power system with an active consumer" Information Technologies and Computer Engineering. 2016. № 1. P. 29-34.

21. Weixian Li, Thillainathan Logenthiran, Van-Tung Phan, and Wai Lok Woo, "Housing Development Management System (hdbms) for Optimized Electricity Bills," Transactions in Environment and Electrical Engineering, vol. 2, no. 2, pp. 64–71, 2017.

22. Haris Doukas, Vangelis Marinakis, John Tsapelas and Sgouris Sgouridis "Intelligent Energy Management Within the Smart Cities: An EU-GCC Cooperation Opportunity" Smart Cities in the Gulf pp 123-147 Volume 30 October 2018.

23. Thomas Bauwens, Patrick Devine-Wrightb "An Empirical Study of Community Energy Participation and Attitudes to Renewable Energy" Energy Policy Volume 118, July 2018, Pages 612-625.

24. Gagangeet Singh Aujla, Sahil Garg, Shalini Batra, Neeraj Kumar, Ilsun You, Vishal Sharma, DROPS: A Demand Response Optimization Scheme and SDN-enabled Smart Energy Ecosystem, Information Sciences (2018)

Надійшла 21.04.2019

Received 21.04.2019